

甘肃中部地区地 - 气温差时空变化特征

徐科展, 邵清军, 张晓芬*, 杨博成, 张俊红, 何 敏

白银市气象局, 甘肃 白银

收稿日期: 2025年9月29日; 录用日期: 2025年10月26日; 发布日期: 2025年11月4日

摘 要

为研究甘肃中部地区地气温差时空变化特征, 利用该区域1971~2024年22个国家气象站逐日0 cm地温与气温资料, 采用REOF、Morlet小波、Mann-Kendall法和回归分析等方法进行综合分析。结果表明, 地气温差空间分布有明显区域差异, 分为I区、II区和III区, 且自南向北逐渐减小; 年际变化I区、III区不显著, II区更显著呈增加趋势, I区、II区自20世纪90年代至21世纪00年代呈上升趋势, 之后10年代呈下降阶段; III区自20世纪80年代中期以来, 一直在波动中呈缓慢的下降阶段, 目前, 均处于上升阶段的同相位变化; 月际变化曲线呈现“单峰型”变化, 最大值、最小值分别出现在当年的6月和12月, 比地温和气温均提前了1个月, 夏季最大、春季次之、秋季较小、冬季最小, I区、II区存在20~25a长周期, III区存在15~20a长周期。另外, I区和II区存在5a左右的短周期, III区存在8a左右的短周期, I区、II区、III区的突变年份分别为1980、1978、2015a。本文结论对科学认识甘肃中部地区生态环境的变化具有参考意义。

关键词

地气温差, 时空变化特征

Spatiotemporal Variation Characteristics of Surface-Air Temperature Difference in Central Gansu Region

Kezhan Xu, Qingjun Shao, Xiaofen Zhang*, Bocheng Yang, Junhong Zhang, Min He

Baiyin Meteorological Bureau, Baiyin Gansu

Received: September 29, 2025; accepted: October 26, 2025; published: November 4, 2025

Abstract

To study the spatio-temporal variation characteristics of the ground and air temperature difference

*通讯作者。

文章引用: 徐科展, 邵清军, 张晓芬, 杨博成, 张俊红, 何敏. 甘肃中部地区地-气温差时空变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1195-1204. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146119

in the central region of Gansu Province, the daily 0cm ground temperature and air temperature data of 22 national meteorological stations in this region from 1971 to 2024 were utilized, and a comprehensive analysis was conducted using methods such as REOF, Morlet wavelet, Mann-Kendall method and regression analysis. The results show that there are obvious regional differences in the spatial distribution of air-ground temperature difference, which is divided into area I, area II and area III, and gradually decreases from south to north. The interannual changes were not significant in Zone I and Zone III, but more significant in Zone II, showing an increasing trend. Zone I and Zone II showed an upward trend from the 1990s to the 2000s, and then a downward stage in the 2010s. Zone III has been in a slow downward phase with fluctuations since the mid-1980s. Currently, it is in the same phase of an upward phase. The monthly variation curve shows a “unimodal” variation. The maximum and minimum values occur respectively in June and December of the current year, both one month earlier than the ground temperature and air temperature. The maximum value is in summer, followed by spring, the minimum in autumn and the minimum in winter. There is a long cycle of 20~25 years in Zone I and Zone II, and a long cycle of 15~20 years in Zone III. In addition, there is a short cycle of about 5 years in region I and region II, and a short cycle of about 8 years in region III. The mutation years of region I, region II and region III are 1980, 1978 and 2015 years respectively. The correlation degree of the temperature difference between the ground and the atmosphere with precipitation is higher in Zone I than in Zone III, and higher in Zone III than in Zone II. The correlation degree is high in summer and autumn, and even higher in summer. It is relatively lower in the annual period, and lower in winter and spring, and even lower in winter. The conclusion of this article has reference significance for scientifically understanding the changes in the ecological environment of the central region of Gansu Province.

Keywords

Temperature Difference between the Ground and the Atmosphere, Characteristics of Spatio-Temporal Variation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在陆气相互作用的过程中，感热加热对于陆面和大气边界层热力交换起着极为重要的作用，地表陆地上地温和表面气温的变化在一定程度上代表了陆面感热加热的状况[1]-[3]。感热通量是大气加热的重要形式，地气温差是衡量地表感热通量的主要指标，不仅是底层大气热量来源的主要贡献者，而且也是地表能量平衡的重要分量，从而地气温差的变化基本上反映了地表感热通量的变化特征[4]-[6]。在下垫面能量交换的过程中，对大气环流、天气气候变化、农业生产和生态环境会带来重大影响。国内有关针对地气温差时空变化特征方面的研究成果较多。比如，温李明等[7]对中国东西部地区地气温差的年代际变化进行了分析研究，指出中国东南和西北地区地气温差年代际变化存在明显的地域分布上的差异性和突变性；符睿等[8]分析讨论了西北干旱区地气温差的空间分布和时间演变特征，提出了西北干旱区地气温差存在异常空间分布和变化周期；刘颖等[9]讨论了青藏高原地气温差的分布特征以及与夏季降水的遥相关关系，指出春季地气温差对夏季降水有一定的指示意义，地气温差较小(大)，长江流域夏季降水偏少(多)；周连童等[10]研究表明西北干旱、半干旱区春季地气温差可能是华北地区夏季降水年代际变化的原因之一，而且西北地区地气温差以及干热对中国夏季降水有着明显的影响。可见，研究地气温差变化具有重要的气候学和生态学应用价值和实际意义。

甘肃中部地区主要涵盖兰州、白银、定西和临夏等市州，位于黄河上游以及青藏高原和河西走廊向黄土高原的过渡地带，北邻祁连山余脉和腾格里沙漠边缘，南邻青藏高原东北坡，东经 $102^{\circ}36'\sim 105^{\circ}34'$ 和北纬 $34^{\circ}34'\sim 37^{\circ}38'$ ，面积约 $62,200\text{ km}^2$ ，戈壁、丘陵、高山、峡谷、沟壑、盆地、河流等地理因素复杂，地形地貌特殊，地势高起伏大，气候多变，属于典型的高原气候、季风气候和温带大陆性气候的交汇区。甘肃在此方面也有一定研究[11][12]，但针对甘肃中部地区目前还没有相关文献报道，因而有必要研究甘肃中部地区地气温差气候变化特征，进一步探究其近地面层热环境变化规律，为当地各级政府合理指导农业生产、保护生态环境提供科学参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料数据

选取甘肃中部地区 22 个国家气象站 1971~2024 年逐日平均 0 cm 地温、平均气温和降水量。用 Ts 代表地温，用 Ta 代表气温，地气温差为 Ts-Ta，分别建立逐站点月、季、年的 Ts、Ta、Ts-Ta 及降水量资料时间序列，对各站年 Ts-Ta 资料进行距平化处理，取 1991~2020 年 Ts-Ta 平均值作为气候值。资料来源于甘肃省气象局，资料序列长、连续性好、代表性好。

2.2. 分析方法

利用 EOF 和 REOF 方法[13]，分析 Ts-Ta 空间异常特征；利用线性趋势估计和六阶多项式拟合方法，分析 Ts、Ta 和 Ts-Ta 年际及年代际变化特征；利用 Morlet 小波分析和 Mann-Kendll 法[14]，分析 Ts-Ta 多时间尺度的周期性变化和突变性特征；利用回归分析方法，分析 Ts-Ta 与降水量线性相关关系。当显著性水平达到 0.10、0.05、0.01 (0.001) 时，则分别表示线性变化倾向趋势较显著、显著、非常显著。季节可划分为：春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12 月至次年 2 月)。

3. 结果分析

3.1. 甘肃中部地区年 Ts-Ta 空间分布特征

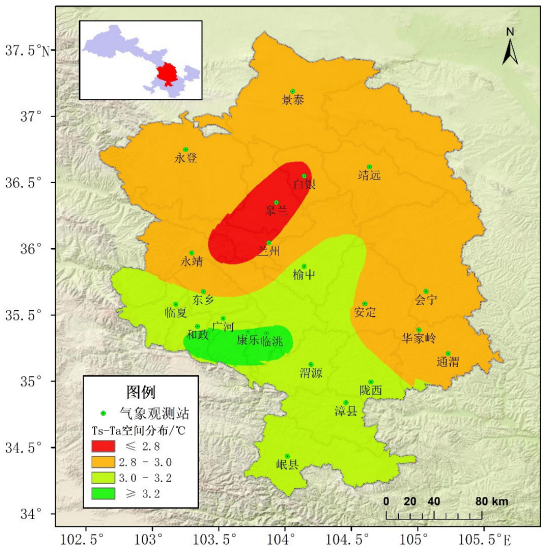
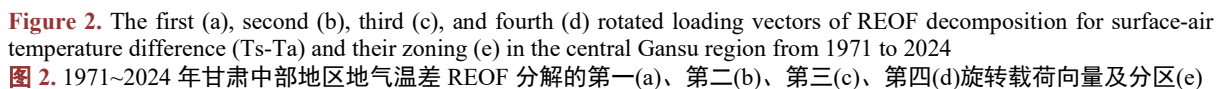


Figure 1. Spatial distribution of annual ground-atmosphere temperature difference (Ts-Ta) in the central region of Gansu province from 1971 to 2024
图 1. 1971~2024 年甘肃中部地区年地气温差(Ts-Ta)空间分布



甘肃中部地区年 Ts-Ta 的空间分布是不均匀的。采用 1971~2024 年甘肃中部地区 22 个气象站的年 Ts-Ta 资料绘制图 1。可以看出,甘肃中部地区年 Ts-Ta 空间分布自南向北逐渐减少,北部地区大部在 $2.8^{\circ}\text{C}\sim 3.0^{\circ}\text{C}$ 之间,南部地区大部在 $3.0^{\circ}\text{C}\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ 之间,低值中心区位于北部的景泰、皋兰、白银等地,高值中心区位于南部的和政、康乐、临洮等地,这种变化的差异性除了与天气系统的影响有关外,还与地形地貌、海拔、地表植被和土壤性质有关[15]。另外,年 Ts、Ta 与 Ts-Ta 的空间分布呈明显的反位相变化,年降水量与 Ts-Ta 的空间分布具有同位相的一致性[16]。

甘肃中部地区年 Ts-Ta 存在明显的空间异常分布。首先采用 EOF 方法对甘肃中部地区 22 个气象站的年 Ts-Ta 距平场进行分解展开,结果显示前 5 个特征向量(LV)的累积解释方差贡献达 89.6%,基本上反映了年 Ts-Ta 距平场的主要特征,然后采用 REOF 对前 5 个特征向量进行方差极大旋转,前 4 个旋转载荷向量(RLV)累积方差贡献为 85.8%,其中,第一旋转载荷向量(RLV₁)方差贡献为 42.8%,第二旋转载荷向量(RLV₂)方差贡献为 26.3%,第三旋转载荷向量(RLV₃)方差贡献为 9.9%,第四旋转载荷向量(RLV₄)方差贡献为 6.8%。由图 2(a)~(d)看一看,利用第一、第二、第三、第四旋转载荷向量绝对值 ≥ 0.6 等值线所包含的区域可将甘肃中部地区年 Ts-Ta 空间分布划分为 I 区、II 区、III 区和 IV 区;III 区和 IV 区在地理位置上相邻,且 IV 区只有单个站点作为一个区进行研究没有意义,所以通过计算 III 区旋转特征值最大者康乐站和 IV 区临夏站 Ts-Ta 之间的相关系数可知,相关系数高达 0.72,可将 III 区和 IV 区划分为同一区即为 III 区。由图 2(e)可以看出,在气候上将甘肃中部则划分为 I 区、II 区和 III 区,I 区位于甘肃中部地区东南部,II 区位于甘肃中部地区东北部,III 区位于甘肃中部地区西南部。

3.2. 甘肃中部地区年 Ts-Ta 年际及年代际变化特征

地气温差的年际及年代际变化是由地温和气温的年际及年代际变化共同决定,因而温和气温对地气温差的贡献取决于相互的影响程度[17]。根据分区结果,选取不同区域 REOF 旋转载荷向量绝对值最大者为代表站,即安定站代表 I 区,景泰站代表 II 区,康乐站代表 III 区,并绘制图(图略),对比分析年 Ts、Ta 和 Ts-Ta 的年际及年代际变化。从线性拟合看,I 区 Ts、Ta 和 Ts-Ta 的线性倾向率分别为 0.485、0.45 和 $0.035^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,Ts、Ta 通过显著性水平 $\alpha = 0.001$ 检验,上升趋势显著,Ts-Ta 未通过显著性水平检验;II 区 Ts、Ta 和 Ts-Ta 的线性倾向率分别为 0.785、0.481 和 $0.304^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,Ts、Ta 和 Ts-Ta 上升趋势显著,通过显著性水平 $\alpha = 0.001$ 检验;III 区 Ts、Ta 和 Ts-Ta 的线性倾向率分别为 0.381、0.405 和 $-0.024^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,Ts、Ta 通过显著性水平 $\alpha = 0.001$ 检验,上升趋势显著,Ts-Ta 未通过显著性水平检验。

从六阶多项式拟合看,I 区自 20 世纪 70 年代初期至 90 年代中前期在平均线附近摆动,90 年代中后期至 21 世纪 00 年代末期呈较明显的上升趋势,21 世纪 10 年代初期至 20 年代初期呈明显的下降趋势;在 II 区自 20 世纪 70 年代初期至 80 年代初中期呈明显上升趋势,80 年代中期至 90 年代中期呈明显下降趋势,90 年代末期至 21 世纪 00 年代末期又呈明显的上升趋势,21 世纪 10 年代初期至末期又呈明显的下降趋势;在 III 区自 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期呈明显的上升趋势,80 年代中后期至 21 世纪 10 年代末期一直呈缓慢的下降趋势,20 年代初期呈明显的上升趋势。

由此可见,甘肃中部地区 Ts-Ta 在不同区域年际变化趋势不尽一致,I 区、III 区 Ts 和 Ta 年际变化增加趋势接近对称性变化,I 区和 III 区 Ts-Ta 年际变化减少趋势不显著;II 区 Ts 和 Ta 年际变化增加趋势呈明显非对称性变化,II 区 Ts-Ta 年际变化增加趋势显著,II 区较 I 区和 III 区年代际变化显著。

3.3. 甘肃中部地区年 Ts-Ta 月际变化及季节特征

图 3 给出了 1971~2024 年甘肃中部地区不同区域年平均的 Ts、Ta 和 Ts-Ta 月际变化曲线。

可以看出:I 区、II 区、III 区年内 Ts 和 Ta 最大值和最小值出现在当年 7 月和次年 1 月;Ts-Ta 最大值

出现在当年 6 月, 最小值出现在当年 12 月。由此可知, 甘肃中部地区年的 T_s 、 T_a 和 T_s-T_a 的月际变化曲线均呈现“单峰型”变化。除 II 区 12 月 T_s-T_a 为负值外, I 区、III 区和 II 区其他月份 T_s-T_a 为正值。 T_s 和 T_a 的最大值、最小值分别出现在当年 7 月和次年 1 月, T_s-T_a 的最大值、最小值分别出现在当年的 6 月和 12 月, T_s-T_a 最大值、最小值比 T_s 和 T_a 均提前了 1 个月。廖要明等[18]研究指出, T_s-T_a 的月际分布特征, 与各地太阳辐射月际分布特征一致。 T_s-T_a 季节变化为夏季最大、春季次之、秋季较小、冬季最小。

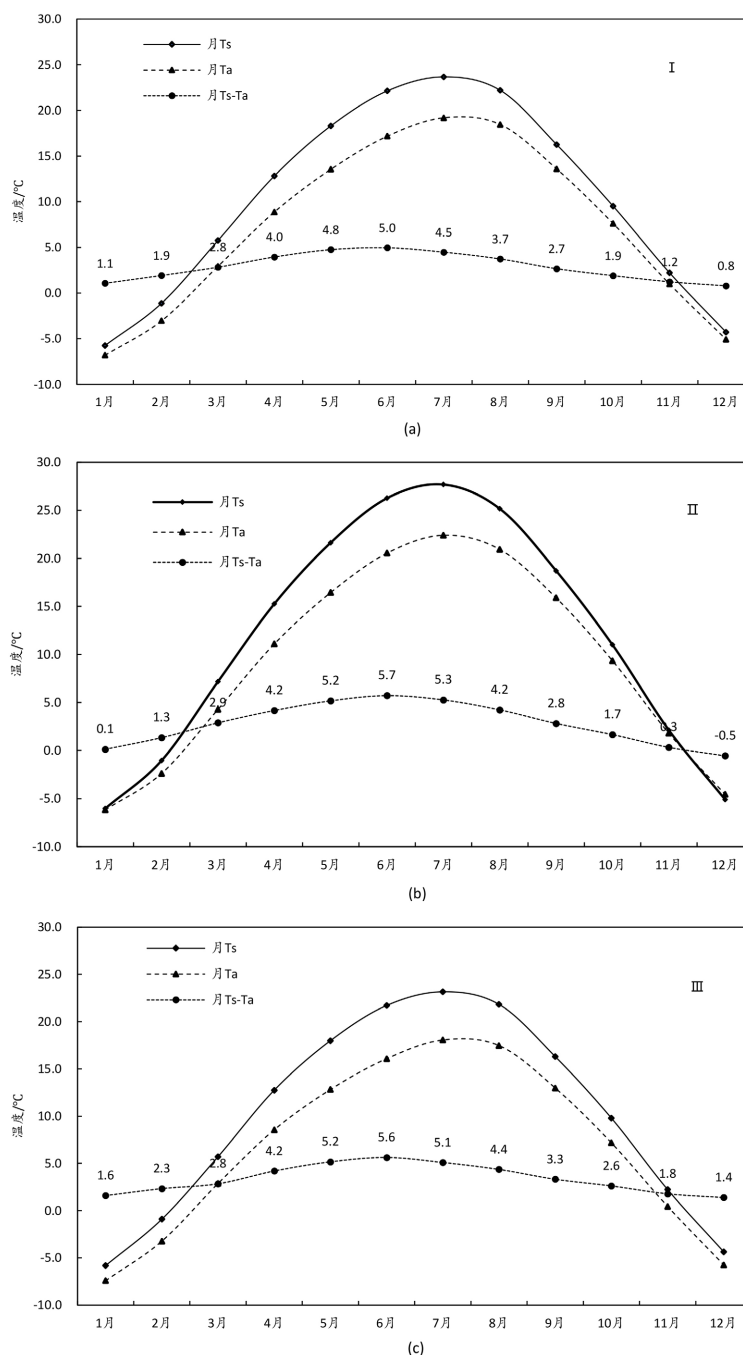


Figure 3. Monthly variations of annual surface-air temperature difference (T_s-T_a) in different sub-regions of the central Gansu region from 1971 to 2024

图 3. 1971~2024 年甘肃中部地区不同区域年的 T_s-T_a 的月际变化

3.4. 甘肃中部地区年 Ts-Ta 的周期性变化特征

甘肃中部地区年 Ts-Ta 存在显著的周期性变化特征。对 1971~2024 年甘肃中部不同区域年 Ts-Ta 进行 Morlet 小波分析并绘制图 4(a)~(c)，可以看出，在时间尺度 20~25a 层次上，I 区、II 区均完成 2 个振荡期，即“+ - + -”；在时间尺度 15~20a 层次上，III 区完成 2.5 个振荡期，即“+ - + - +”。另外，I 区和 II 区存在 5a 左右的短周期，III 区存在 8a 左右的短周期。目前，I 区和 II 区均处于偏低期，III 区处于偏高期。这种差异可能与东亚夏季风的周期性振荡有关[19]。

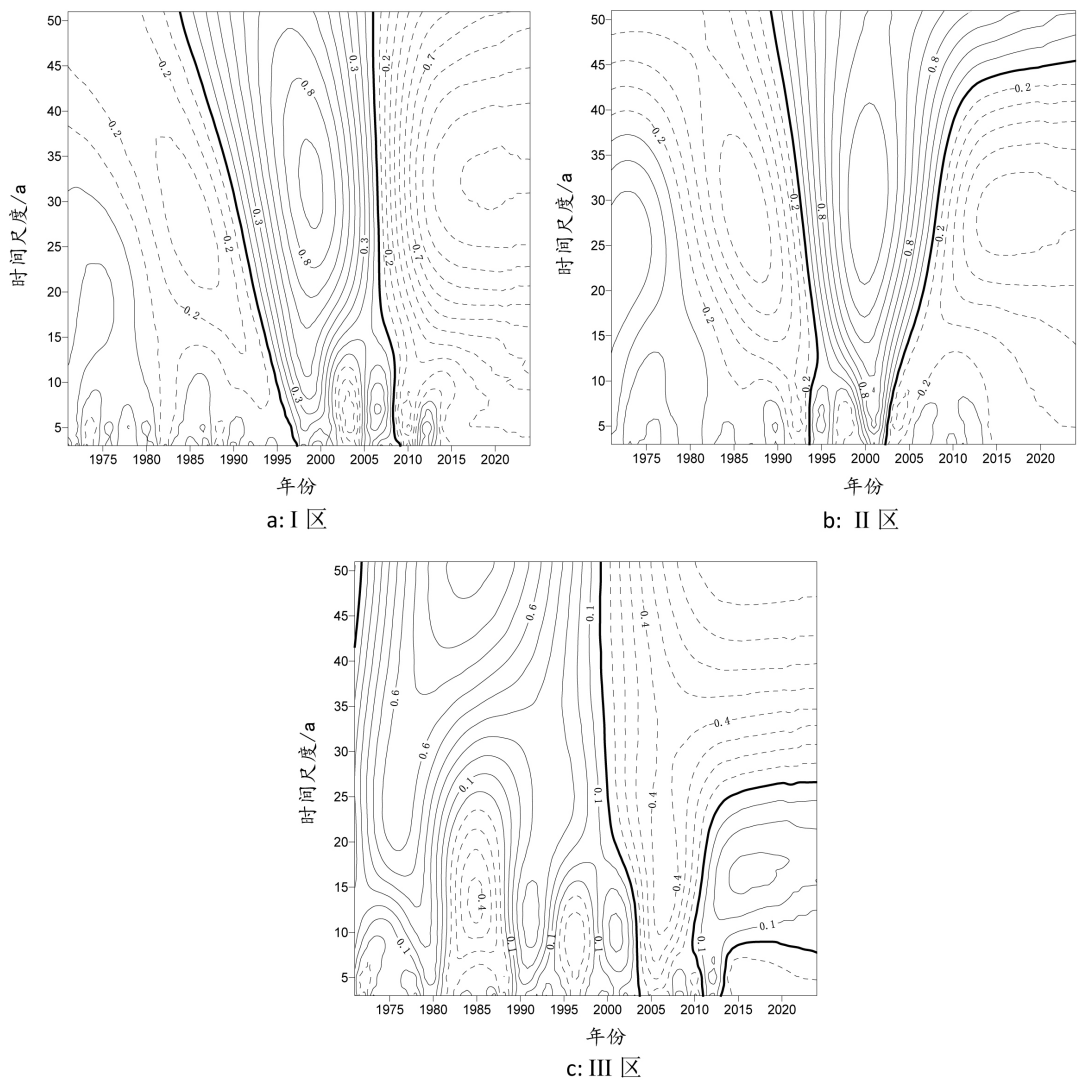


Figure 4. Morlet wavelet analysis results of annual surface-air temperature difference (Ts-Ta) in different sub-regions of central Gansu from 1971 to 2024
图 4. 1971~2024 年甘肃中部不同区域年地气温差(Ts-Ta) Morlet 小波分析结果

3.5. 甘肃中部地区年 Ts-Ta 的突变检验

为进一步分析甘肃中部地区 Ts-Ta 的年代际变化特征，利用 Mann-Kendll 法检验突变特征。图 5(a)~(c) 分别表示甘肃中部地区不同区域年 Ts-Ta 的 M-K 统计量曲线，其中，显著性水平 $U_{0.05} = \pm 1.96$ ，用 A、B 分别表示，UF、UB 分别为正、逆序列统计量。从图中可以看到，I 区年 Ts-Ta 在 20 世纪 70 年代初期至

末期曲线上下小幅波动变化不明显，80 年代初期至 21 世纪 10 年代初期波动中显著增大趋势，之后又呈显著的减少趋势，突变时间 1980 年；II 区年 T_s-T_a 在 20 世纪 70 年代初期至 80 年代初期呈显著增大趋势，之后至 90 年代末期呈缓慢减小趋势，21 世纪 00 年代初期又呈显著增大趋势，突变时间 1978 年；III 区年 T_s-T_a 在 20 世纪 70 年代中期至 80 年代末期波动中呈显著增大趋势，之后至 21 世纪 00 年代末期呈缓慢的减小趋势，10 年代又呈显著减小趋势，突变时间 2015 年。

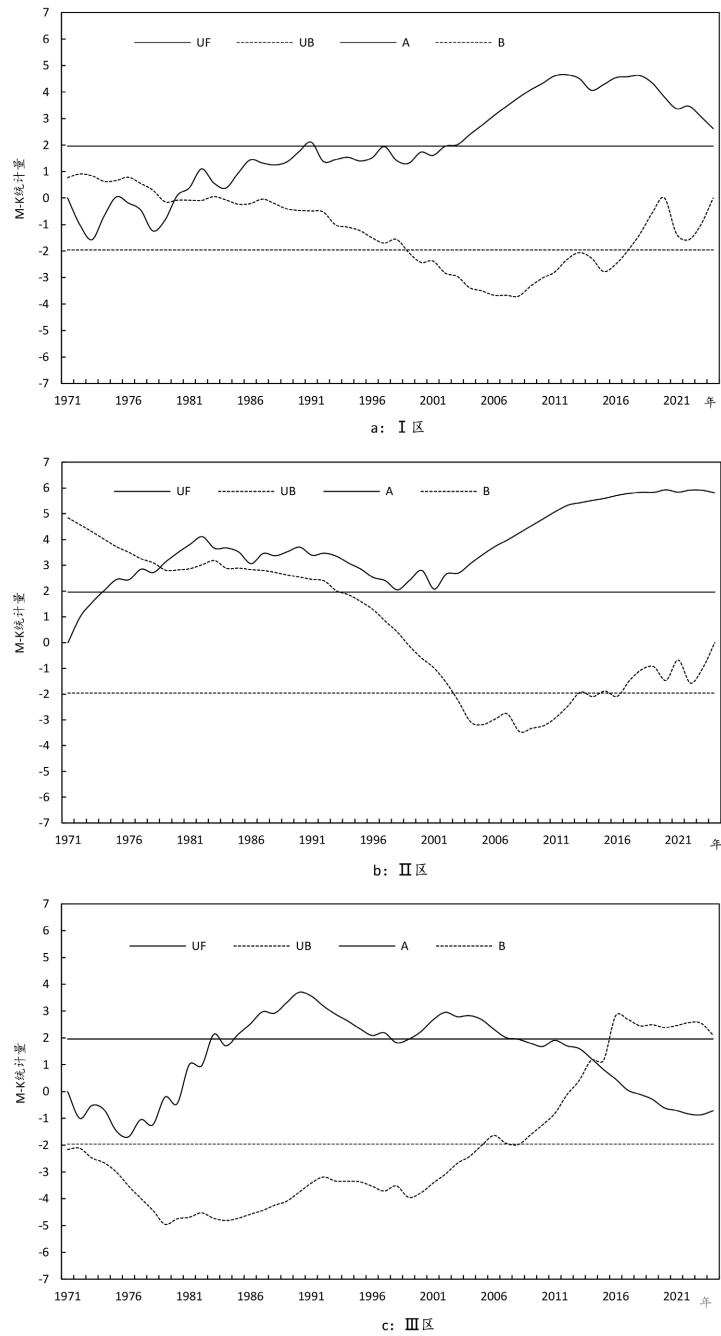


Figure 5. Mann-Kendall (M-K) test curves of annual surface-air temperature difference (T_s-T_a) in different sub-regions of the central Gansu region from 1971 to 2024

图 5. 1971~2024 年甘肃中部地区不同区域年 T_s-T_a 的 M-K 检验曲线

4. 结论与讨论

利用甘肃中部地区 22 个国家气象站 1971~2024 年逐日气温、0 cm 地温资料,对甘肃中部地区 Ts-Ta 的时空特征及其对降水量影响进行分析,得到如下结论:

(1) 甘肃中部地区 Ts-Ta 空间分布自南向北逐渐减小,低值中心区位于北部的景泰、皋兰、白银等地,高值中心区位于南部的和政、康乐、临洮等地,异常空间可划分为 I 区、II 区和 III 区。

(2) 甘肃中部地区 Ts-Ta 在不同区域年际变化趋势不尽一致,I 区、III 区 Ts-Ta 年际变化趋势不显著;II 区 Ts-Ta 年际变化呈显著的增加趋势;Ts-Ta 年代际变化特征明显,21 世纪 10 年代初期至末期均呈显著的下降趋势,20 年代初转为上升趋势,II 区比 I 区和 III 区年代际变化更显著。

(3) 甘肃中部地区年的 Ts、Ta 和 Ts-Ta 的月际变化曲线均呈“单峰型”变化,Ts-Ta 的最大值、最小值分别出现在当年的 6 月和 12 月,比 Ts 和 Ta 均提前了 1 个月。季节变化为夏季最大、春季次之、秋季较小、冬季最小。

(4) 甘肃中部地区 Ts-Ta 存在显著的周期性变化特征,I 区、II 区存在 20~25a 长周期;III 区存在 15~20a 长周期。另外,I 区和 II 区存在 5a 左右的短周期,III 区存在 8a 左右的短周期。年代际变化突变性特征显著,I 区、II 区、III 区的突变年份分别为 1980 年、1978 年、2015 年。

(5) 本文未涉及 Ts-Ta 年际及年代际变化的机理问题,特别是与大气环流演变的内在联系,有待于做进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 张强,黄荣辉,王胜,等.西北干旱区陆—气相互作用实验(NWC-ALIEX)及其研究进展[J].地球科学研究进展,2005,20(4): 427-441.
- [2] Zhou, L. and Huang, R. (2013) Regional Differences in Surface Sensible and Latent Heat Fluxes in China. *Theoretical and Applied Climatology*, **11**, 625-637. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0975-0>
- [3] 宴红明,杞晓辉,肖子牛,等.冬季亚洲大陆的热力差异对亚洲季风活动的影响[J].大气科学,2005,29(4): 549-563.
- [4] 王澄海,崔洋.东亚季风建立前青藏高原地气温差变化特征[J].气候与环境研究,2011,16(5): 586-596.
- [5] 庄晓翠,张梅,刘大峰.新疆阿勒泰地区地气温差变化特征[J].气象与环境科学,2009,32(4): 13-19.
- [6] 沈学顺,木本昌秀.春季欧亚大陆地表气温变化特征的气候意义[J].大气科学,2007,31(1): 19-27.
- [7] 温李明,周连童,黄荣辉,等.我国东西部地区地气温差的年代际变化特征[J].气候与环境研究,2014,19(5): 636-648.
- [8] 符睿,韦志刚,文军,等.中国西北干旱区地气温差季节和年际变化特征的分析[J].高原气象,2008,27(4): 844-851.
- [9] 刘颖,徐祥德,施晓辉.春季地气温差与长江中下游夏季旱涝异常的相关[J].气象科技,2009,37(3): 301-305.
- [10] 周连童,温李明.我国春夏季地气温差的时空变化特征及其与夏季降水的联系[J].气候与环境研究,2016,21(6): 621-632.
- [11] 王超,韦志刚,李振朝,等.敦煌戈壁地气温差变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(11): 72-78.
- [12] 杨晓玲,丁文魁,李岩瑛,等.近 50 年武威市地气温差变化趋势及影响因子[J].生态学报,2015,35(8): 2719-2725.
- [13] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007: 95-104.
- [14] 黄嘉佑,李庆祥.气象数据统计分析方法[M].北京:气象出版社,2015: 126-145.
- [15] 陆晓波,徐海明,孙丞虎,等.中国近 50a 地温的变化特征[J].南京气象学院学报,2006,29(5): 706-712.
- [16] 邵清军,张俊红,徐科展,等.甘肃白银农作物生长期降水量时空变化及干旱风险评估[J].成都信息工程大学学报,2024,39(2): 216-222.
- [17] 范丽军,韦志刚,董文杰.西北干旱地区地气温差的时空特征分析[J].高原气象,2004,23(3): 360-367.

- [18] 廖要明, 陈德亮, 刘秋峰. 中国地气温差时空分布及变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(4): 374-384.
- [19] 黄荣辉, 顾蕾, 陈际龙, 等. 东亚季风系统的时空演变及其对我国气候影响的最新研究进展[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 691-719.